

PRV

PATENT- OCH REGISTRERINGSVERKET
Patentavdelningen

11 APR 2003

10/531103

SE 03/01556

**Intyg
Certificate**

Härmed intygas att bifogade kopior överensstämmer med de handlingar som ursprungligen ingivits till Patent- och registreringsverket i nedannämnda ansökan.

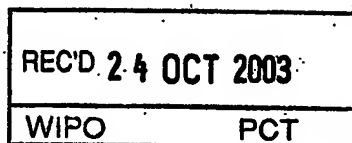
This is to certify that the annexed is a true copy of the documents as originally filed with the Patent- and Registration Office in connection with the following patent application.



(71) Sökande ABB AB, Västerås SE
Applicant (s)

(21) Patentansökningsnummer 0202974-2
Patent application number

(86) Ingivningsdatum 2002-10-09
Date of filing



Stockholm, 2003-10-14

För Patent- och registreringsverket
For the Patent- and Registration Office

Lisa Junegren

Lisa Junegren

Avgift
Fee

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

JON ijn

Sökande: ABB AB

5

Omriktare samt förfarande för styrning av en omriktare

UPPFINNINGENS OMRÅDE OCH TIDIGARE KÄND TEKNIK

10

Föreliggande uppfinning avser ett förfarande för styrning av en omriktare enligt ingressen hos bifogade patentkrav 1 samt en omriktare enligt ingressen hos bifogade självständiga omriktarpatentkrav.

15

Uppfinningen avser således omriktning av spänning vid vilken åtminstone den ena sidan hos omriktaren för en likspänning, men den andra sidan inte nödvändigtvis måste föra en växelspanning, utan nämnda utgång kan även tillhöra en andra sida hos en omriktare i form av en DC/DC-omriktare använd för att ändra nivån på en likspänning. Dock kommer härafter i för uppfinningen belysande men följaktligen ingalunda begränsande syfte fallet av en omriktare med nämnda utgång ansluten till en växelspanningsledning, det vill säga omriktning mellan likspänning och växelspanning, att beskrivas. Därvid kommer fallet av en omriktare av VSC-typ (Voltage Source Converter) avsedd att via växlande mellan nämnda huvudtillstånd alstra ett tåg av pulser med bestämd amplitud enligt ett pulsbreddsmoduleringsmönster på omriktarens utgång att beskrivas. En sådan omriktare kan användas i allehanda situationer, då likspänning skall omvandlas till växelspanning och tvärtom, varvid exempel på sådana användningar är i stationer hos HVDC-anläggningar (högspänd likström), i vilka likspänningen normal omvandlas till tre-fas-växelspanning eller omvänt eller i så kallade back-to-back-stationer där växelspanning först omvandlas till likspänning och sedan denna till växelspanning, liksom i SVC-er (Static Var Compensator), där likspänningssidan består av en eller flera fritt hängande kondensatorer.

20

25

30

35

Växelströmssidan hos omriktaren skulle även kunna vara ansluten till en växelströmsmotor för drivande därav eller till en växelströmsgenerator.

- 5 Vidare påpekas att förfarandet är inriktat på styrning av en nämnd omriktare som uppvisar åtminstone nämnda sex enheter, vilket innebär att åtminstone tre olika nivåer kan erhållas på spänningen på nämnda utgång, men det är fullt möjligt att omriktaren uppvisar fler sådana enheter, så att fler än fyra huvud-
- 10 tillstånd och även fler än tre nivåer på spänningen på utgången kan uppnås. Därvid kan flera omriktare av detta slag bilda del av en omriktare för flera faser, såsom för trefas, men den kan även vara anordnad att ensam bilda en omriktare för omvandling mellan likspänning och en enfasväxelspänning.
- 15 Vidare är uppfinningen inte begränsad till några speciella spänningsnivåer på nämnda första likspänningssida eller storlek på effekt som skall hanteras. De förra ligger med fördel inom intervallet 1 kV-500 kV.
- 20 En fördel med att vid omriktning av växelspänning till likspänning och vice versa använda en omriktare med åtminstone tre nivåer istället för en tvånivåbrygga är att betydligt lägre frekvenser för switchande av enheternas halvledarelement enligt pulsbredds-
- 25 moduleringsmönstret kan användas för uppnående av en kurvform hos växelspänningssidan av en given kvalitet. Därigenom kan switchförlusterna minskas avsevärt, så att det även blir möjligt att överföra högre effekter genom en sådan trenivåomriktare än genom en tvånivåbrygga, då högre ledförluster kan tillåtas.
- 30 Samtidigt reduceras genom pulsbreddsmoduleringsförfarandet genererade övertoner.
- 35 Ett förfarande av inledningsvis definierat slag är tidigare känt genom sökandens egna svenska patent 517 427. Detta svenska patent beskriver ett förfarande som utgör en förbättring av tidigare kända sådana förfaranden för styrning av en omriktare med nämnda sex enheter genom att föreslå hur switchförlusterna skall

fördelas jämnare än tidigare mellan de olika enheterna. Genom att hos en utföringsform av förfarandet enligt det svenska patentet 517 427 utnyttja endast fyra olika tillstånd hos enheternas halvledarelement blir själva förfarandet för styrning av halvledarelementen mycket enkelt. Det påpekas att det i praktiken naturligtvis förekommer ett femte möjligt tillstånd hos denna utföringsform, nämligen när omriktaren är ur drift och då alla halvledarelementen är släckta. Genom att halvledarelementen hos den första och sjätte enheten styrs att i respektive huvudtillstånd intaga samma läge, tänd eller släckt, samt halvledarelementen i den fjärde och femte enheten styrs att i respektive huvudtillstånd intaga samma läge, tänd eller släckt, blir det möjligt att använda sig av samma styrsignal för halvledarelementen i den första och sjätte enheten respektive i den fjärde och femte enheten.

Även om det är fördelaktigt att så att säga förregla halvledarelementen i fyra av enheterna parvis på detta sätt har föreliggande uppfinnare kommit till insikten att det stundom kan innebära problem att ge halvledarelementen hos ett sådant par av enheter styrsignaler för tändande eller släckande av dem samtidigt. Detta beror på att halvledarelementen kommer att reagera skiljaktigt på en sådan styrsignal i beroende av om halvledarelementet är strömförande vid omkopplingen eller ej, det vill säga om det rör sig om en passiv spänningsomkoppling eller en verklig strömkommutering. En passiv spänningsomkoppling kan gå betydligt snabbare än en verklig strömkommutering, så att i det ena fallet tänds eller släcks halvledarelementet avsevärt snabbare än i det andra fallet. Detta kan innebära, villkorat med strömriktning vid kommutering, att kortvariga höga spänningstoppar skulle kunna uppnås över någon nämnd enhet, vilket skulle kunna förstöra halvledarelementet ifråga. Alternativt måste halvledarelementen, eller åtminstone sådana i vissa enheter, utformas att i de flesta fall vara överdimensionerade vad gäller spänningstålighet för att klara sådana spänningstoppar, och därvid blir de onödigt dyra.

SAMMANFATTNING AV UPPFINNINGEN

5 Syftet med föreliggande uppfinning är att tillhandahålla ett förfarande samt en omriktare av inledningsvis definierat slag, vilka gör det möjligt att råda bot på ovannämnda olägenhet och därigenom göra det möjligt att tillförsäkra att inte något halvledarelement förstörs vid omkopplingarna på grund av spänningstoppar utan krav på nämnd överdimensionering av halvledarelementen för den skull.

10 Detta syfte uppnås enligt uppfinningen genom tillhandahållande av ett förfarande av inledningsvis definierat slag, hos vilket vid ett växlande mellan huvudtillstånd genom en så kallad liten kommuteringsloop utförs, det vill säga ett växlande mellan ett anslutande av pluspolen till utgången och nolltillståndet enligt det
15 tredje huvudtillståndet eller ett växlande mellan ett anslutande av minuspolen till utgången och nolltillståndet enligt det fjärde huvudtillståndet, åtminstone när strömriktningen skulle innebära en spänningstopp på väsentligen hela spänningen mellan nämnda
20 pluspol och minuspol över den av den andra eller den tredje enheten som ej tillhör kommuteringsloopen i det fall halvledarelementen som skall vara tända i det kommande huvudtillståndet och tillhör ett nämnt par av enheter skulle tändas samtidigt, en extra sekvens i form av en fördröjd tändning av halvledarelementet hos den ena enheten hos sistnämnda par relativt halvledarelementet hos detta pars andra enhet.
25

Uppfinnarna har således insett att nämnda problem med spänningstoppar uppnås vid ett växlande mellan huvudtillstånd genom
30 en så kallad liten kommuteringsloop, och att detta problem kan lösas genom att införa en fördröjning av tändningen av halvledarelementet hos den ena enheten hos ett nämnt enhetspar relativt halvledarelementet hos detta pars andra enhet vid sådan kommutering. Genom en sådan fördröjning kommer det att kunna
35 tillses att aldrig väsentligt mer än halva spänningen mellan nämnda pluspol och minuspol kommer att appliceras över den andra eller tredje enheten. Dessa enheters halvledarelement be-

höver således inte överdimensioneras vad gäller spänningstålighet relativt halvledarelementen hos andra enheter hos omriktaren.

- 5 Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen utförs nämnda extra sekvens alltid vid växling av huvudtillstånd enligt en nämnd liten kommuteringsloop oberoende av strömriktningen vid utgången. Det har befunnits att problemet med nämnda spänningstoppar är beroende av strömriktningen vid en nämnd kommutering, men genom att göra utförandet av extrasekvensen oberoende av strömriktningen kan det uppfinningsenliga förfarandet förenklas betydligt och dess tillförlitlighet höjas.

- 15 Det har därvid befunnits att det är fördelaktigt att tända halvledarelementet i den yttre enheten, det vill säga den första eller fjärde enheten, hos respektive par av enheter med fördröjning relativt den andra enheten, det vill säga den sjätte eller femte, i paret.

- 20 Enligt en annan föredragen utföringsform av uppfinningen är nämnda fördröjning mindre än en tiondel, företrädesvis mindre än en hundradel av den normala varaktigheten av ett nämnt huvudtillstånd. Således är det meningen att det mellantillstånd som uppnås genom nämnda fördröjning skall ha en i sammanhanget
- 25 försvinnande kort varaktighet relativt huvudtillstånden och därmed i praktiken inte påverka resultatet av omriktarens drift på annat sätt än att spänningstoppar över halvledarelementen ifråga undviks.

- 30 Enligt en annan föredragen utföringsform av uppfinningen styrs enheternas halvledarelement så att mellan två huvudtillstånd alltid ett så kallat blankingtillstånd uppnås för undvikande av att halvledarelement som inte får vara tända samtidigt skall kortvarigt åtminstone delvis vara detta och att under detta tillstånd ett
- 35 sådant halvledarelement hinner släcka innan därefter ett annat sådant tänds. Härigenom kan partiella kortslutningar hos omriktaren ifråga undvikas, exempelvis kortslutningar av kondensatorer

använda på omriktarens likspänningssida för definierande av likspänningen.

5 Enligt en annan föredragen utföringsform av uppfinningen styrs halvledarelementen för att minimera varaktigheten hos mellan nämnda huvudtillstånd liggande tillstånd med halvledarelementen i den andra och sjätte enheten samtidigt tända eller i den tredje och femte enheten samtidigt tända för undvikande av parallellströmmar i omriktaren. Det har nämligen befunnits att till odefinierade drifttillstånd hos omriktaren rådande parallellströmmar i 10 beroende av strömriktningen vid omriktarens utgång kan uppnås om halvledarelementen i den andra och sjätte enheten eller de i den tredje och femte enheten är tända samtidigt i mellan huvudtillstånden liggande mellantillstånd. Problemet med sådana parallellströmmar och odefinierade drifttillstånd hos omriktaren löses genom att göra dessa mellantillstånd så korta det överhuvudtaget går. 15

20 Enligt en annan föredragen utföringsform styrs vid växlande mellan huvudtillstånd via en stor kommuteringsloop, det vill säga ett växlande mellan det första huvudtillståndet och det fjärde huvudtillståndet eller ett växlande mellan det andra huvudtillståndet och det tredje huvudtillståndet, de till samma enhetspar hörande halvledarelementen med en och samma styripuls för att båda under växlandet konstant hållas i samma läge, släckt eller tänd. Det 25 har befunnits att oberoende av riktningen på strömmen i omriktarens utgång uppstår inga problem med nämnda spänningstoppar vid kommutering enligt den så kallade stora kommuteringsloopen, så att förfarandet kan förenklas i ett sådant fall genom att använda en och samma styripuls för halvledarelementen tillhörande 30 samma par.

35 Enligt en annan föredragen utföringsform av uppfinningen utförs förfarandet på en omriktare med flera nämnda halvledarelement seriekopplade i varje nämnd enhet, och halvledarelementen tillhörande samma enhet styrs genom en och samma styripuls. Det uppfinningsenliga förfarandet är speciellt väl lämpat för omriktare

5 hos vilka det krävs en seriekoppling av ett flertal halvledarelement för att de tillsammans skall kunna hålla den spänning som enheten måste hålla i sitt blockerande tillstånd, eftersom i ett sådant fall vissa halvledarelement redan kan ha en något högre spänning över sig än andra halvledarelement på grund av vissa smärre skillnader mellan halvledarelementen, och i ett sådant fall är det ytterst viktigt att nämnda spänningstoppar kan undvikas för att eliminera risken för att just dessa halvledarelement slås ut och därigenom även övriga halvledarelement slås ut.

10 Uppfinningen avser även en omriktare enligt bifogade självständiga omriktarpatentkrav, och fördelarna med en sådan omriktare i förhållande till tidigare kända omriktare av det slaget framgår med all önskvärd tydlighet av beskrivningen ovan av förfarandet enligt uppfinningen samt de föredragna utföringsformerna därav.

15 Uppfinningen avser även ett datorprogram samt ett datorläsbart medium enligt motsvarande bifogade patentkrav. Det inses lätt att förfarandet enligt uppfinningen definierat i bifogade uppsättning förfarandepatentkrav är väl lämpat att utföras genom programinstruktioner från en processor påverkbar av ett med ifrågasvarande programsteg försett datorprogram.

25 Ytterligare fördelar med samt fördelaktiga särdrag hos uppfinningen framgår av den efterföljande beskrivningen samt övriga osjälvständiga patentkrav.

KORT BESKRIVNING AV RITNINGARNA

30 Här nedan beskrivs såsom exempel anförda föredragna utföringsformer av uppfinningen under hänvisning till bifogade ritningar, på vilka:

35 fig 1 schematiskt illustrerar en omriktare av tre-nivå-typ av det slag på vilket det uppfinningsenliga förfarandet är applicerbart,

fig 2 illustrerar schematiskt hur ett pulsbreddsmoduleringsmönster läggs ut på fasutgången hos en omriktare enligt fig 1, och

- 5 fig 3 är ett förenklat blockschema illustrerande principen för styrning av en omriktare enligt fig 1 enligt föreliggande uppfinning.

DETALJERAD BESKRIVNING AV FÖREDRAGNA UTFÖRINGSFORMER AV UPPFINNINGEN

- 10 I fig 1 illustreras uppbyggnaden av en tre-nivå-omriktare av det slag som finns beskrivet i sökandens ovannämnda svenska patent 517 427. Det illustreras här hur omriktaren uppvisar tre så kallade fasben 1-3 med var sin fasutgång 4-6 för anslutande av omriktarens växelspänningssida via en reaktor och/eller transformator till ett trefas-växelspänningsnät, men herefter kommer
- 15 endast det ena av dessa fasben att diskuteras. Det är även fullt möjligt att omriktaren är ansluten till ett enfas-växelspänningsnät eller växelspänningssidan kan förutom AC-nätet anslutas till en generator eller en motor. Omriktaren är en så kallad VSC-omriktare, vilken uppvisar en mellan två poler, en positiv 7 och en negativ 8, hos en likspänningssida hos omriktaren anordnad seriekoppling av fyra enheter S1-S4, vilka vardera innefattar ett
- 20 släckbart halvledarelement 13-16 och en därmed antiparallellt kopplad diod 17-20 och är givna ordningsnummer efter ordningen i seriekopplingen från den positiva till den negativa polen.
- 25

- Två seriekopplade kondensatorer 21, 22 är anordnade mellan nämnda båda poler, och en punkt 23 (likspänningssidans mittpunkt) mellan dessa (vilket normalt är fallet) är ansluten till jord 9
- 30 via en impedans Z, varvid denna impedans kan variera från noll (= direktjordning av likspänningssidans mittpunkt) till ett värde X (= impedansjordning av likspänningssidans mittpunkt, via till exempel en resistans R eller en induktans L) upp till ett värde X_{\max} (= ojordad mittpunkt, där jordningen enbart bestäms av strökapacitanser mellan likspänningssidans mittpunkt och jord), så att på
- 35 detta sätt potentialerna $+U/2$ respektive $-U/2$ tillhandahålls hos

respektive pol, varvid U är spänningen mellan de båda polerna 7, 8.

5 En andra mittpunkt 24 hos seriekopplingen mellan den första och andra enheten är via en femte enhet S5 med dioden 26 med ledriktning med avseende på fasutgången 4 motsatt ledriktningen hos den andra enhetens diod och ett antiparallellt därmed kopplat släckbart halvledarelement 10 ansluten till likspänningssidans mittpunkt och en tredje mittpunkt 27 hos seriekopplingen mellan
10 den tredje och fjärde enheten är via en sjätte nämnd enhet S6 med dioden 29 med ledriktning med avseende på fasutgången motsatt den tredje enhetens diod och ett antiparallellt därmed kopplat släckbart halvledarelement 11 ansluten till likspänningssidans mittpunkt.

15 De släckbara halvledarelementen hos enheterna S1-S6 kan exempelvis vara IGBT-er eller GTO-er. Fastän endast en IGBT eller GTO per enhet visats kan denna stå för en mängd, seriekopplade, simultant styrda IGBT-er eller GTO-er, vilket ävenledes
20 normalt är fallet, då det krävs ett förhållandevis stort antal sådana halvledarelement för att hålla den spänning som varje enhet måste hålla i blockerat tillstånd, då exempelvis likspänningssidan har en spänning överstigande 10 kV. Likaså kan varje visad diod, så kallad frihjulsdiod, stå för en mängd seriekopplade
25 dioder.

De i omriktaren ingående halvledarelementen styrs via en schematiskt antydd inrättning 30 att tändas och släckas för att omväxlande ansluta likspänningssidans mittpunkt, pluspol och minuspol till fasutgången hos respektive fasben för alstrande av ett
30 tåg av pulser med bestämda amplituder och enligt ett pulsbreddsmoduleringsmönster (PWM) på fasutgången. Därvid är pulsbreddsmoduleringsfrekvensen betydligt högre än, med fördel åtminstone 5 gånger så hög, mera föredraget åtminstone 10
35 gånger så hög och mest föredraget åtminstone 20 gånger så hög som grundfrekvensen hos den normalt väsentligen sinusformade växelströmmen på omriktarens fasutgång. Således kan puls-

breddsmoduleringsfrekvensen företrädesvis vara i storleksordningen 1-2 kHz, medan grundfrekvensen, det vill säga den frekvens grundtonen hos fasströmmen på fasutgången har, typiskt sett är 50 Hz eller 60 Hz. Vid generator- eller motoransluten omriktare kan dock frekvensen hos strömmen variera inom ett stort område.

Omriktaren kan drivas på olika sätt, såsom för överföring av aktiv effekt som likriktare eller som växelriktare, eller för överförande av reaktiv effekt, eller för överföring av en kombination av aktiv och reaktiv effekt.

Likspänningssidans mittpunkt 23 är anslutbar till fasutgången 4 genom två olika så kallade nolltillstånd, nämligen ett första i vilket den andra S2 och den femte S5 enheten är i ledande tillstånd, och ett andra, i vilket den tredje S3 och den sjätte S6 enheten är i ledande tillstånd. Med fördel utnyttjas denna valmöjlighet av nolltillstånd för styrande av omriktaren så att summan av switch- och ledförlusterna fördelas jämnare mellan halvledarelementen hos fyra av de sex enheterna, och hur sådan styrning kan ske finns närmare beskrivet i svenska patentet 517 427.

Med fördel är inrättningen 30 anordnad att styra enheternas halvledarelement så att de båda nolltillstånden intages väsentligen lika många gånger per tidsenhet, och det är fördelaktigt att därvid halvledarelementen styrs så att väsentligen varje gång ett nämnt nolltillstånd skall väljas väljs det motsatta nolltillståndet mot det närmast i tiden föregående nolltillståndet.

Styrinrättningen 30 är anordnad att styra enheternas S1-S6 halvledarelement att tändas och släckas så att omväxlande fyra huvudtillstånd erhålles hos omriktaren i form av anslutning av utgången till den första sidans pluspol enligt ett första, vid vilket således åtminstone halvledarelementen hos S1 och S2 måste vara tända, minuspol enligt ett andra, i vilket åtminstone halvledarelementen hos S3 och S4 måste vara tända, eller mittpunkt via något av nämnda två nolltillstånd. Likt styrförfarandet enligt

det svenska patentet 517 427 görs hos det uppfinningsenliga
förfarandet en förregling mellan enhetsparen S1, S6 och S4, S5
vad gäller deras läge i respektive huvudtillstånd, så att de till
samma par hörande är samtidigt tända eller släckta. Därvid till-
ses att motstående enheters halvledarelement har släcksignaler
5 innan halvledarelementet som skall tändas för tändsignal. Skulle
inte en sådan förregling vara förhanden och exempelvis S1, S6
tändas innan S4, S5 släcks vid växlande från det fjärde till det
första tillståndet, då kommer kondensatorerna 21 och 22 att kort-
10 slutas kortvarigt och stora kortslutningsströmmar uppstå.

I fig 2 illustreras hur ett pulsbreddsmoduleringsmönster typiskt
sett kan se ut för en omriktare av det slag som visas i fig 1. Där-
vid är den visade sinuskurvan 31 spänningsbörvärdet på omrikta-
15 rens fasutgång 4, medan det framgår att när nämnda börvärde är
positivt anslutes omväxlande likspänningssidans pluspol och
dess mittpunkt 23 till fasutgången, det vill säga positiva pulser
och nollpulser medan skiftande bredd växlas, medan när nämnda
börvärde är negativt det växlas mellan negativa pulser och noll-
20 pulser.

I fig 3 illustreras mycket schematiskt hur styrning genom styrin-
rättningen 30 i praktiken går till. Ett referensvärde motsvarande
fasuttagets spänningsbörvärde inkommer vid 33 till en puls-
25 breddsmoduleringsgenerator 34, vilken utarbetar det i fig 2 vi-
sade pulsbreddsmoduleringsmönstret och sänder en puls-
breddsmoduleringsignal på sin utgång 35, vilken beordrar en
positiv, negativ eller nollpuls på fasutgången, till en nolltill-
ståndsväljare 36, vilken sänder en pulsbreddsmoduleringsignal
30 innehållande uppgift även om vilket nolltillstånd som skall väljas
när nollpuls skall läggas ut på fasutgången, till ett medel 37 för
styrande av de olika enheternas S1-S6 halvledarelement att tän-
das eller släckas, vilket illustreras genom de sex pilarna 38 till
halvledarelementen.

35 Föreliggande uppfinnare har insett att vid vissa kommuteringar
mellan olika huvudtillstånd hos ett förfarande enligt det svenska

patentet 517 427 kommer kortvariga spänningstoppar på väsentligen hela spänningen U mellan likspänningssidans båda poler att appliceras över någon av de båda inre enheterna, det vill säga S2 eller S3. Därvid är risken stor att ett eller flera halvledarelement i en sådan enhet havererar, om inte enheterna kraftigt överdimensioneras vad gäller spänningstålighet, vilket blir kostsamt. Närmare bestämt uppstår detta problem vid ett växlande mellan huvudtillstånd genom en så kallad liten kommuteringsloop, det vill säga mellan anslutande av pluspolen till utgången och det tredje nolltillståndet eller anslutande av minuspolen till utgången och det fjärde nolltillståndet. Detta är beroende av att enheterna beter sig olika i beroende av om det rör sig om en passiv spänningsomkoppling hos halvledarelementen eller om det rör sig om en verklig strömkommutering. Detta kan exemplifieras med att det skall växlas mellan det första huvudtillståndet, i vilket S1, S2 och S6 är tända, till det tredje huvudtillståndet, i vilket S2, S5 och S4 är tända. Skulle i ett sådant fall efter släckande av S1 och S6 S4 och S5 tändas samtidigt, då skulle på grund av att S1 har lett ström det ta en i sammanhanget inte oansenlig tid att tända halvledarelementet i S5 och kommutera över strömmen från S1 till detta, så att kortvarigt utgången 4 fortfarande skulle ha kvar samma potential som likspänningssidans pluspol. Skulle däremot halvledarelementet i S4 tändas samtidigt, vilket skulle innebära en passiv spänningsomkoppling utan någon strömkommutering, då skulle betydligt snabbare minuspolens potential anslutas till punkten 27 mellan S3 och S4, så att kortvarigt hela spänningen mellan de båda likspänningspolerna skulle ligga över S3. Detta problem råder emellertid uppfinningen bot på genom att vid växlande mellan huvudtillstånd genom en liten kommuteringsloop införa en extra-sekvens i form av en fördröjd tändning av halvledarelementet hos den ena enheten hos det par som skall tändas relativt halvledarelementet hos detta pars andra enhet. I det just beskrivna exemplet innebär detta att halvledarelementet i S4 tänds med en fördröjning relativt halvledarelementet i S5, så att nämnda strömkommutering har hunnit ske och fasutgången 4 är på nollpotential innan halvledarelementet i S4 tänds, och därmed endast

halva likspänningen kommer att anligga över S3. Därvid är nämnda fördröjning mycket kort i förhållande till den normala varaktigheten hos ett nämnt huvudtillstånd, och förhållandet är typiskt sett så att fördröjningen är mindre än en tiondel, företrädesvis mindre än en hundradel av den normala varaktigheten av ett nämnt huvudtillstånd, och kan exempelvis vara $5 \mu\text{s}/1000 \mu\text{s}$.

Förutom dessa så kallade extra sekvenser vid en så kallad liten kommuteringsloop styrs enheternas halvledarelement så att man mellan två huvudtillstånd alltid har ett så kallat blankingtillstånd för undvikande av att halvledarelement som inte får vara tända samtidigt skall kortvarigt åtminstone delvis vara detta och att under detta tillstånd ett sådant halvledarelement hinner släcka innan därefter ett annat sådant tänds. Sådana blankingtillstånd har en tidslängd i ungefärligen samma storleksordning som nämnda fördröjning och är således försvinnande korta i förhållande till den normala varaktigheten hos ett huvudtillstånd. De införs mellan alla huvudtillstånd, även vid så kallade stora kommuteringsloopar där en nämnd extrasekvens inte genomförs.

Dessutom styrs halvledarelementen för att minimera varaktigheten hos mellan nämnda huvudtillstånd liggande tillstånd med halvledarelementen i den andra och sjätte enheten samtidigt tända eller i den tredje och femte enheten samtidigt tända för undvikande av parallellströmmar i omriktaren.

Detta leder till följande kontrollscheman för växlande mellan huvudtillstånd genom en så kallad liten kommuteringsloop enligt föreliggande uppfinning:

I tabell 1-4 är de uppfinningsenliga förfarandena med extra sekvenser vid ett växlande mellan huvudtillstånd genom en så kallad liten kommuteringsloop visade, varvid B indikerar blankningstillstånd och E extrasekvens. På motsvarande sätt är växlande mellan huvudtillstånd genom de båda så kallade stora kommuteringslooperna sammanfattade i tabell 5 och tabell 6. Där framgår att inga extrasekvenser används.

Tabell 1

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
1+	1	1	0	0	0	1
B	0	1	0	0	0	0
E	0	1	0	0	1	0
3N	0	1	0	1	1	0

5

Tabell 2

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
3N	0	1	0	1	1	0
E	0	1	0	0	1	0
E	0	1	0	0	1	1
B	0	1	0	0	0	1
1+	1	1	0	0	0	1

10

Tabell 3

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
2-	0	0	1	1	1	0
B	0	0	1	0	0	0
E	0	0	1	0	0	1
4N	1	0	1	0	0	1

0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
A
B
C
D
E
F
G
H
I
J
K
L
M
N
O
P
Q
R
S
T
U
V
W
X
Y
Z

Tabell 4

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
4N	1	0	1	0	0	1
E	0	0	1	0	0	1
E	0	0	1	0	1	1
B	0	0	1	0	1	0
2-	0	0	1	1	1	0

5

Tabell 5

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
1+	1	1	0	0	0	1
B	1	0	0	0	0	1
4N	1	0	1	0	0	1
B	1	0	0	0	0	1
1+	1	1	0	0	0	1

Tabell 6

10

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
2-	0	0	1	1	1	0
B	0	0	0	1	1	0
3N	0	1	0	1	1	0
B	0	0	0	1	1	0
2-	0	0	1	1	1	0

15

Växlingen enligt tabell 1 har redan kommenterats högre upp. Den enligt tabell 2 kan förklaras enligt följande. Mellantillståndet med S2 och S5 ledande läggs in före det andra mellantillståndet med S2, S5 och S6 ledande, då det i annat fall finns risk att S4 och S6 är kortvarigt samtidigt tända och kortsluter kondensatorn 22. Extrasekvensen i form av tillståndet med S2, S5 och S6 tända är

5 till för att tvinga mittpunkten 27 mellan S3 och S4 att bli noll innan fasutgången ansluts till pluspolen. Blankningstillståndet med S2 och S6 tända är viktigt, då man i annat fall skulle blivit tvungen att släcka S5 samtidigt som S1 tänds, och man vill av ovan nämnd anledning inte styra halvledarelementen i två enheter i en liten kommuteringsloop samtidigt.

10 Tabell 3 och tabell 4 behöver ingen ytterligare förklaring, då samma problem uppträder där som vid växlingarna enligt tabell 1 och tabell 2 och dessa växlingar är spegelsymmetriska relativt utgången 4 och mittpunkten 23 relativt de förra.

15 Såsom ovan redan nämnts skall tillstånden med S3 S5 S6, S3 S5, S2 S5 S6 eller S2 S6 samtidigt ledande minimeras för att begränsa varaktigheten av parallellströmmar i kretsen så långt som möjligt.

20 För att förenkla det uppfinningsenliga styrförfarandet görs inte detta beroende av riktningen på strömmen i utgången 4, även om vissa problem som löses genom nämnda extrasekvenser endast förekommer vid en given strömriktning och vid motsatt strömriktning därmed extrasekvensen skulle kunna utelämnas. Detta skulle dock leda till ett betydligt mera komplicerat styrförfarande.

25 Uppfinningen är givetvis inte på något sätt begränsad till de ovan beskrivna föredragna utföringsformerna, utan en mängd möjligheter till modifikationer därav torde vara uppenbara för en fackman på området, utan att denne avviker från uppfinningens grundtanke sådan denna definieras i patentkraven.

30 En mängd andra möjligheter till styrscheman som utnyttjar den uppfinningsenliga grundtanken torde vara uppenbara för fackmän på området.

35 Exempelvis är det mycket väl möjligt att känna av riktningen på strömmen i utgången och göra utförandet av en extrasekvens eller ej beroende av strömriktningen. Det är även möjligt att om-

riktaren ifråga uppvisar ytterligare nämnda enheter för att ge
möjlighet till fler än tre nivåer på utgången.

02-10-09

Patentkrav

1. Förfarande för styrning av en omriktare för omriktning av
5 likspänning till växelspänning eller likspänning och vice versa, vilken innefattar en mellan två poler, en positiv (7) och en negativ (8), hos en första sida i form av en likspänningssida hos omriktaren anordnad seriekoppling av fyra enheter (S1-S4), vilka vardera innefattar ett släckbart halvledarelement (13-16) och en
10 därmed antiparallellt kopplad diod (17-20) och är givna ordningsnummer efter ordningen i seriekopplingen från den positiva till den negativa polen, en ledning hos omriktarens andra sida ansluten till en första mittpunkt, benämnd utgång (4), hos seriekopplingen mellan den andra och tredje enheten, medel (9) anordnade att på nämnda första sida tillhandahålla en mittpunkt (23) mellan de båda polerna och lägga dessa poler på samma spänning men med motsatta tecken i förhållande till den första sidans mittpunkt, varvid en andra mittpunkt (24) hos seriekopplingen mellan den första och andra enheten är via en femte
15 nämnd enhet (S5) med ett släckbart halvledarelement (10) och med den antiparallellt med detta kopplade dioden (26) med ledriktningen med avseende på utgången (4) motsatt ledriktning hos den andra enhetens diod ansluten till den första sidans mittpunkt (23) och en tredje mittpunkt (27) hos seriekopplingen mellan den tredje och fjärde enheten är via en sjätte nämnd enhet (S6) med ett släckbart halvledarelement (11) och med den antiparallellt med detta kopplade dioden (29) med ledriktning med avseende på utgången motsatt den tredje enhetens diod ansluten till den första sidans mittpunkt, vid vilket enheternas halvledarelement styrs att tändas och släckas så att omväxlande fyra huvudtillstånd erhålles hos omriktaren i form av anslutning av utgången (4) till den första sidans pluspol (7) enligt ett första, minuspol (8) enligt ett andra eller mittpunkt (23) via något av två olika så kallade nolltillstånd, nämligen ett tredje, i vilket den
20 andra och femte enheten är i ledande tillstånd, och ett fjärde, i vilket den tredje och sjätte enheten är i ledande tillstånd, varvid den första och sjätte enheten bildar ett par genom att dessa
25
30
35

halvledarelement styrs att i respektive huvudtillstånd intaga samma läge, tänd eller släckt, och den fjärde och femte enheten bildar ett par genom att dessa halvledarelement styrs att i respektive huvudtillstånd intaga samma läge, tänd eller släckt, samt
5 varvid en växling mellan det första och andra huvudtillståndet alltid görs via det tredje eller fjärde nolltillståndet, kännetecknat därav, att vid ett växlande mellan huvudtillstånd genom en så kallad liten kommuteringsloop utförs, det vill säga ett växlande
10 mellan ett anslutande av pluspolen (7) till utgången (4) och nolltillståndet enligt det tredje huvudtillståndet eller ett växlande mellan anslutande av minuspolen (8) till utgången (4) och nolltillståndet enligt det fjärde huvudtillståndet, åtminstone när strömriktningen skulle innebära en spänningstopp på väsentligen
15 hela spänningen mellan nämnda pluspol och minuspol över den av den andra eller tredje enheten (S2, S3) som ej tillhör kommuteringsloopen i det fall halvledarelementen som skall vara tända i det kommande huvudtillståndet och tillhör ett nämnt par (S1, S6 resp S4, S5) av enheter skulle tändas samtidigt, en extra sekvens i form av en fördröjd tändning av halvledarelementet hos
20 den ena enheten hos sistnämnda par relativt halvledarelementet hos detta pars andra enhet.

2. Förfarande enligt krav 1, kännetecknat därav, att nämnda extra sekvens alltid utförs vid växling av huvudtillstånd enligt en
25 nämnd liten kommuteringsloop oberoende av strömriktningen vid utgången.

3. Förfarande enligt krav 1 eller 2, kännetecknat därav, att det är halvledarelementet i den yttre enheten (S1, S4), det vill säga
30 den första eller fjärde enheten, hos respektive par av enheter som tänds med fördröjning relativt den andra enheten (S6, S5), det vill säga den sjätte eller femte, i paret.

4. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat
35 därav, att vid växlande från det första till det tredje huvudtillståndet tänds halvledarelementet i den fjärde enheten (S4) med en fördröjning relativt halvledarelementet i den femte enheten (S5).

5. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat därav, att vid växlande från det andra till det fjärde huvudtillståndet tänds halvledarelementet i den första enheten (S1) med en
5 fördröjning relativt halvledarelementet i den sjätte enheten (S6).

6. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat därav, att vid ett växlande från det tredje till det första huvudtillståndet tänds halvledarelementet i den första enheten (S1) med
10 en fördröjning relativt halvledarelementet i den sjätte enheten (S6).

7. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat därav, att vid ett växlande från det fjärde till det andra huvudtillståndet tänds halvledarelementet i den fjärde enheten (S4) med
15 en fördröjning relativt halvledarelementet i den femte enheten (S5).

8. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat därav, att nämnda fördröjning är mindre än en tiondel, företrädesvis mindre än en hundraedel av den normala varaktigheten av ett nämnt huvudtillstånd.

9. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat därav, att enheternas halvledarelement styrs så att mellan två huvudtillstånd alltid ett så kallat blankingtillstånd (B) uppnås för undvikande av att halvledarelement som inte får vara tända samtidigt skall kortvarigt åtminstone delvis vara detta och att under detta tillstånd ett sådant halvledarelement hinner släcka innan
25
30 därefter ett annat sådant tänds.

10. Förfarande enligt krav 9, kännetecknat därav, att halvledarelementen styrs för intagande av nämnda blankingtillstånd (B) under en tidsperiod som varar mindre än en tiondel, företrädesvis
35 mindre än en hundraedel av den normala varaktigheten av ett nämnt huvudtillstånd.

11. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat därav, att det första huvudtillståndet uppnås genom att styra halvledarelementen i den första (S1), andra (S2) och sjätte (S6) enheten att vara tända, det andra huvudtillståndet genom att styra halvledarelementen i den tredje (S3), fjärde (S4) och femte (S5) enheten att vara tända, det tredje huvudtillståndet genom att styra halvledarelementen i den andra (S2), fjärde (S4) och femte (S5) enheten att vara tända och det fjärde huvudtillståndet genom att styra halvledarelementen i den första (S1), tredje (S3) och sjätte (S6) enheten att vara tända.

12. Förfarande enligt krav 11, kännetecknat därav, att vid växlande från det första huvudtillståndet till det tredje släcks först halvledarelementen i den första (S1) och sjätte (S6) enheten, sedan tänds halvledarelementet i den femte (S5) enheten och slutligen tänds halvledarelementet i den fjärde enheten (S4).

13. Förfarande enligt krav 11, kännetecknat därav, att vid växlande från det tredje huvudtillståndet till det första huvudtillståndet släcks först halvledarelementet i den fjärde enheten (S4), sedan tänds halvledarelementet i den sjätte enheten (S6), därpå släcks halvledarelementet i den femte enheten (S5) och slutligen tänds halvledarelementet i den första enheten (S1).

14. Förfarande enligt krav 11, kännetecknat därav, att vid växlande från det andra huvudtillståndet till det fjärde huvudtillståndet släcks först halvledarelementen i den fjärde (S4) och femte (S5) enheten, sedan tänds halvledarelementet i den sjätte enheten (S6) och slutligen tänds halvledarelementet i den första enheten (S1).

15. Förfarande enligt krav 11, kännetecknat därav, att vid växlande från det fjärde huvudtillståndet till det andra huvudtillståndet släcks först halvledarelementet i den första enheten (S1), sedan tänds halvledarelementet i den femte enheten (S5), därpå släcks halvledarelementet i den sjätte enheten (S6) och slutligen tänds halvledarelementet i den fjärde enheten (S4).

16. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat därav, att halvledarelementen styrs för att minimera varaktighe-
ten hos mellan nämnda huvudtillstånd liggande tillstånd med
5 halvledarelementen i den andra (S2) och sjätte (S6) enheten
samtidigt tända eller i den tredje (S3) och femte (S5) enheten
samtidigt tända för undvikande av parallellströmmar i omriktaren.

17. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat
10 därav, att vid växlande mellan huvudtillstånd via en stor kommu-
teringsloop, det vill säga ett växlande mellan det första huvudtill-
ståndet och det fjärde huvudtillståndet eller ett växlande mellan
det andra huvudtillståndet och det tredje huvudtillståndet, styrs
de till samma enhetspar (S1, S6 resp S4, S5) hörande halvledar-
15 elementen med en och samma styripuls för att båda under väx-
landet konstant hållas i samma läge, släckt eller tänt.

18. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat
därav, att enheternas halvledarelement styrs så att de båda noll-
20 tillstånd intages väsentligen lika många gånger per tidsenhet.

19. Förfarande enligt krav 18, kännetecknat därav, att enheter-
nas halvledarelement styrs så att väsentligen varje gång ett
nämnt nolltillstånd skall väljas väljs det motsatta nolltillståndet
25 mot det närmast i tiden föregående nolltillståndet.

20. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat
därav, att det utförs på en omriktare med flera nämnda halvledar-
element seriekopplade i varje nämnd enhet (S1-S6), och att
30 halvledarelementen tillhörande samma enhet styrs genom en och
samma styripuls.

21. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat
därav, att det är halvledarelement (13-16) i form av IGBT:er (In-
35 sulated Gate Bipolar Transistors) som styrs att tändas och
släckas.

22. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat därav, att det utförs på en omriktare i form av en VSC-omriktare för omriktning av växelspanning till likspänning och vice versa med nämnda ledning bildad av en växelspanningsfasledning för att via växlande mellan huvudtillstånden alstra ett tåg av pulser med bestämda amplituder enligt ett pulsbreddsmoduleringsmönster på omriktarens utgång (4).
- 10 23. Förfarande enligt krav 22, kännetecknat därav, att det är en VSC-omriktare med en likspänningssida bildad av ett likspänningsnät för överföring av högspänd likström (HVDC) och växelspanningsfasledningen tillhörande ett växelspanningsnät som styrs.
- 15 24. Förfarande enligt krav 22, kännetecknat därav, att det är två VSC-omriktare hos en back-to-back-station med sina växelspanningssidor anslutna till ett och samma eller var sitt växelspanningsnät och sina likspänningssidor anslutna till varandra som styrs.
- 20 25. Förfarande enligt krav 22, kännetecknat därav, att det är en VSC-omriktare ingående i en SVC (Static Var Compensator) med likspänningssidan bildad av fritt hängande kondensatorer och växelspanningsfasledningen tillhörande ett växelspanningsnät som styrs.
- 25 26. Förfarande enligt något av kraven 1-21, kännetecknat därav, att det är en VSC-omriktare med nämnda utgång ansluten till en växelströmsmotor som styrs.
- 30 27. Förfarande enligt något av kraven 1-21, kännetecknat därav, att det är en VSC-omriktare med nämnda utgång ansluten till en växelströmgenerator som styrs.
- 35 28. Omriktare för omriktning av likspänning till växelspanning eller likspänning och vice versa, vilken innefattar en mellan två

poler, en positiv (7) och en negativ (8), hos en första sida i form
 av en likspänningssida hos omriktaren anordnad seriekoppling av
 fyra enheter (S1-S4), vilka vardera innefattar ett släckbart halvle-
 darelement (13-16) och en därmed antiparallellt kopplad diod
 5 (17-20) och är givna ordningsnummer efter ordningen i serie-
 kopplingen från den positiva till den negativa polen, en ledning
 hos omriktarens andra sida ansluten till en första mittpunkt, be-
 nämnd utgång (4), hos seriekopplingen mellan den andra och
 tredje enheten, medel (9) anordnade att på nämnda första sida
 10 tillhandahålla en mittpunkt (23) mellan de båda polerna och
 lägga dessa poler på samma spänning men med motsatta tecken
 i förhållande till den första sidans mittpunkt, varvid en andra
 mittpunkt (24) hos seriekopplingen mellan den första och andra
 enheten är via en femte nämnd enhet (S5) med ett släckbart
 15 halvledarelement (10) och med den antiparallellt med detta
 kopplade dioden (26) med ledriktningen med avseende på ut-
 gången motsatt ledriktningen hos den andra enhetens diod an-
 sluten till den första sidans mittpunkt och en tredje mittpunkt (27)
 hos seriekopplingen mellan den tredje och fjärde enheten är via
 20 en sjätte nämnd enhet (S6) med ett släckbart halvledarelement
 (11) och med den antiparallellt med detta kopplade dioden (29)
 med ledriktningen med avseende på utgången motsatt den tredje
 enhetens diod ansluten till den första sidans mittpunkt, varvid
 omriktaren även innefattar en inrättning (30) anordnad att styra
 25 enheternas halvledarelement att tändas och släckas för att om-
 växlande uppnå fyra huvudtillstånd hos omriktaren i form av an-
 slutning av utgången till den första sidans pluspol (7) enligt ett
 första, minuspol (8) enligt ett andra eller mittpunkt (23) via något
 av två olika så kallade nolltillstånd, nämligen ett tredje, i vilket
 30 den andra och femte enheten är i ledande tillstånd, och ett
 fjärde, i vilket den tredje och sjätte enheten är i ledande tillstånd,
 varvid den första och sjätte enheten bildar ett par genom att in-
 rättningen är anordnad att styra dessas halvledarelement att i
 respektive huvudtillstånd intaga samma läge, tänt eller släckt,
 35 och den fjärde och femte enheten bildar ett par genom att inrätt-
 ningen är anordnad att styra dessas halvledarelement att i re-
 spektive huvudtillstånd intaga samma läge, tänt eller släckt, samt

- varvid inrättningen är anordnad att styra halvledarelementen så att en växling mellan det första och andra huvudtillståndet alltid görs via det tredje eller fjärde nolltillståndet, kännetecknad därav, att inrättningen är anordnad att, vid ett växlande mellan
- 5 huvudtillstånd genom en så kallad liten kommuteringsloop, det vill säga mellan anslutande av pluspolen till utgången och nolltillståndet enligt det tredje huvudtillståndet eller ett anslutande av minuspolen till utgången och nolltillståndet enligt det fjärde huvudtillståndet, åtminstone när strömriktningen skulle
- 10 innebära en spänningstopp på väsentligen hela spänningen mellan nämnda pluspol (7) och minuspol (8) över den av den andra (S2) eller tredje (S3) enheten som ej tillhör kommuteringsloopen i det fall halvledarelementen som skall vara tända i det kommande huvudtillståndet och tillhör ett nämnt par av en-
- 15 heter skulle tändas samtidigt, styra dessa halvledarelement enligt en extra sekvens i form av en fördröjd tändning av halvledarelementet hos den ena enheten hos sistnämnda par relativt halvledarelementet hos parets andra enhet.
- 20 29. Datorprogram som är laddningsbart direkt in i internminnet hos en dator, vilket innefattar mjukvarukodpartier för styrande av stegen hos något av kraven 1-27 när programmet körs på datorn.
30. Datorprogram enligt krav 29 tillhandahållet åtminstone delvis
- 25 via ett nätverk såsom Internet.
31. Datorläsbart medium med ett därpå registrerat program, vilket är utformat att bringa en dator att styra stegen enligt något av kraven 1-27.

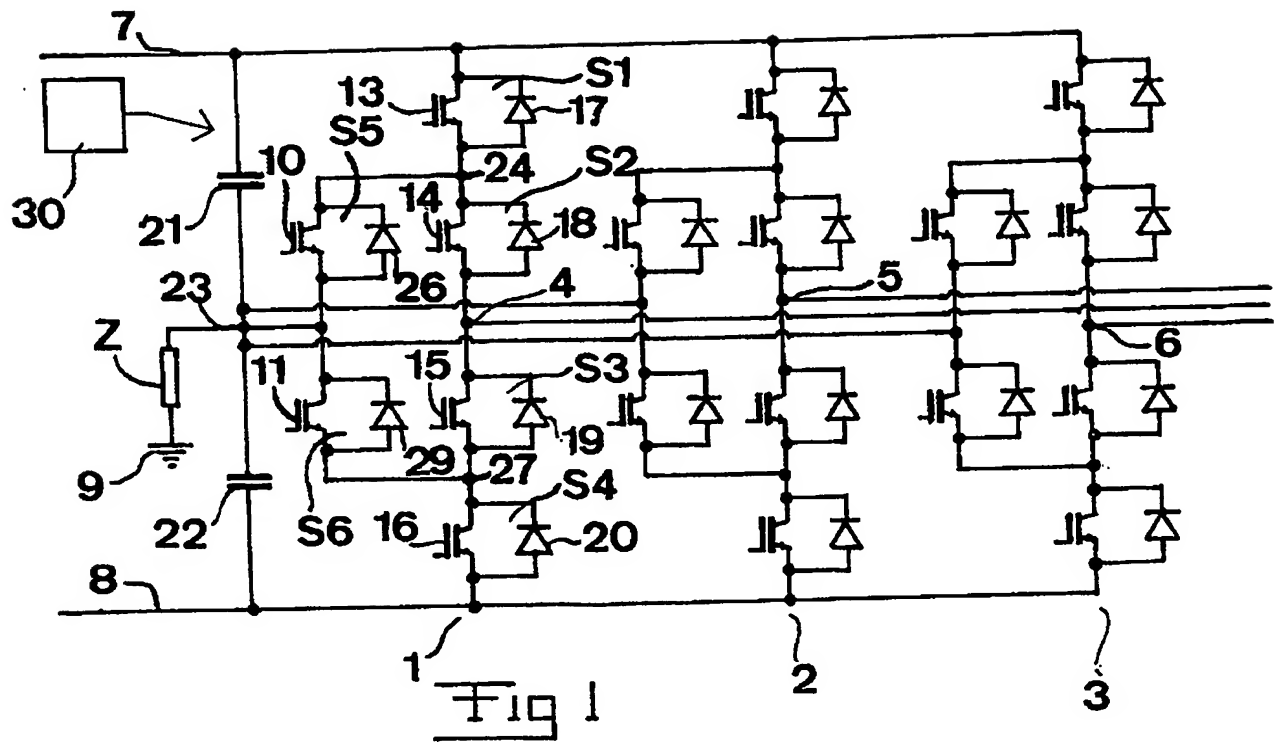
SAMMANDRAG

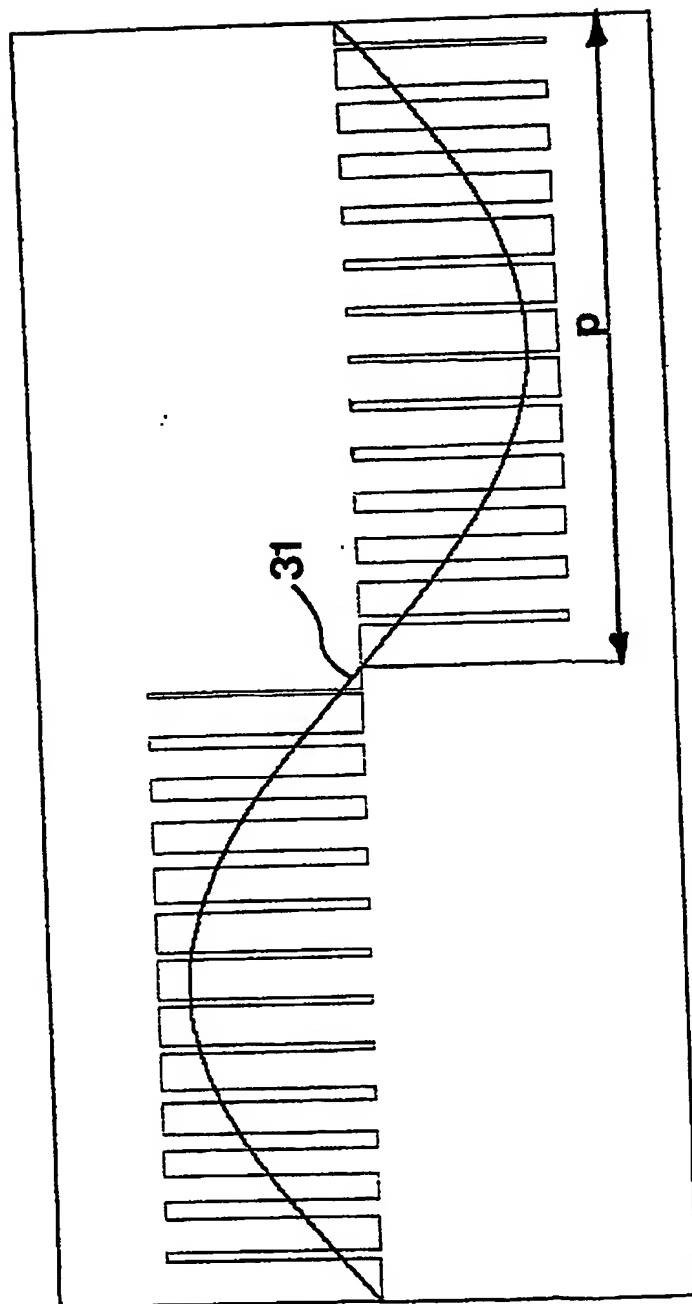
Vid ett förfarande för styrning av en omriktare för omriktning av
 likspänning till växelspanning eller likspänning och vice versa,
 5 hos vilken en utgång hos omriktaren kan alternativt anslutas till
 en pluspol (7), en minuspole (8) eller en mittpunkt (23) hos en
 likspänningssida hos omriktaren i form av olika så kallade hu-
 vudtillstånd, utförs vid ett växlande mellan huvudtillstånd genom
 en så kallad liten kommuteringsloop en extrasekvens i form av en
 10 fördröjd tändning av halvledarelement (13, 16) hos en enhet hos
 omriktaren relativt halvledarelement (14, 15) hos en annan en-
 het hos ett enhetspar hos omriktaren.

(Fig 1).

15

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
216

$\frac{1}{3}$ 



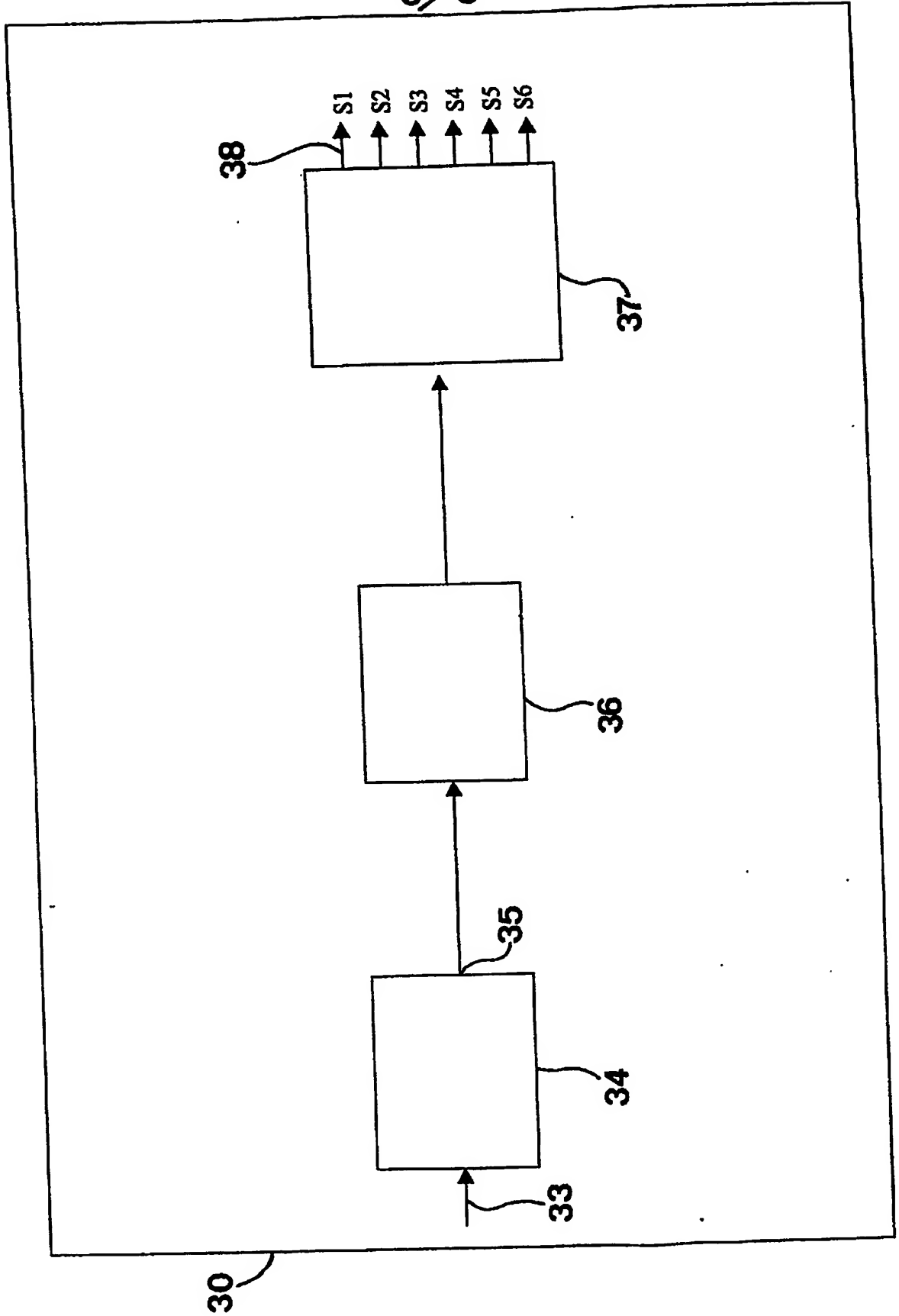


Fig 3